



TITLE:

Development and thermal performance
assessment of the opaque PV façades for
subtropical climate region(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Lai, Chi-Ming

CITATION:

Lai, Chi-Ming. Development and thermal performance assessment of the opaque PV
façades for subtropical climate region. 京都大学, 2016, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2016-01-25

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.r12983>

RIGHT:

学位規則第9条第2項により要約公開

京都大学	博士（工学）	氏名	頼 啓 銘
論文題目	Development and thermal performance assessment of the opaque PV façades for subtropical climate region (亜熱帯地域に適した不透明 PV 外壁の開発と熱的性能の評価)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、不透明な PV(Photovoltaic)外壁を分類し、検討が殆どなされていない亜熱帯地域に適した 3 種類の不透明 PV 外壁を提案、開発するとともに、それらが技術的に実用可能であることを示したものであって、5 章からなっている。</p> <p>第 1 章は序論であり、PV 外壁 (PV façade)、不透明 PV 外壁を定義し、建物のエネルギーマネジメントとの関連について考察している。これまでの研究を調査分析した結果に基づき、不透明 PV 外壁を 8 つのカテゴリーに分類し、各カテゴリーの設計例を紹介し技術的な位置付けを行っている。以下の章に示すように、本研究により開発された新しい不透明 PV 外壁の設計コンセプトとそこで用いられている種々の技術は、これらの全カテゴリーの内容を包含するものとなっている。本論文は、研究対象地域である台湾の気候特性、建設業の実務および住環境・生活スタイルをふまえて実用性を考慮したものであり、かつ学術研究としての方法論、特に建築物理の基本に則ったものである。従って、提案された技術は類似の気候、生活空間とスタイルを有する他の地域にも展開可能である。</p> <p>第 2 章では、自ら熱を放散する BIPV (Building-Integrated Photovoltaic)カーテンウォールを開発している。太陽光発電パネル（以下、PV パネル）、建物構造および熱輸送機構を統合し、浮力とダブルスキン構造を利用して PV パネルが吸収する太陽熱を放散することができる換気機能付き BIPV カーテンウォールを提案している。それにより太陽光セルの温度を下げ、温度上昇による発電効率の低下を防止するとともに、外壁の断熱性を確保することに成功している。すなわち、この換気機能付き BIPV カーテンウォールは、台湾の通常の 15cm 厚コンクリート壁に直接 PV パネルを貼りつけた BIPV より 16-44% 高い発電効率を有し、熱貫流率 (U 値) は、排出口を完全に開放した場合には 0.11-0.14 W/m² K、ルーバー付き排出口では 0.19-0.25 W/m² K である。換気機能付き BIPV に関する研究は現在世界的に盛んに行われているが、本研究は、換気機能付き BIPV と金属製カーテンウォールを組み合わせ、関連する設計パラメータと熱性能試験データを提供した新規性の高い研究成果と認められる。</p> <p>第 3 章では、顕熱を利用した典型的な BIPV/T (Building-Integrated Photovoltaic/Thermal) あるいは BIST (Building-Integrated Solar Thermal)を開発している。これは太陽熱利用給湯 SWH (Solar Water Heating)技術、カーテンウォール構造、地域の建設実態、熱移動機構および自然循環ループ設計を総合した革新的な BIPV/T 太陽熱利用給湯器である。試作されたシステムを用いた測定により、システム全体としての太陽熱利用効率が 0.45～0.78 となることを明らかにしている。さらにこのシステムに対して熱移動モデルを構築し、循環水の流量に応じて得られる温水量などを計算し、その結果を試作機を用いた性能測定実験と比較して検証している。居住者一人あるいは一家族のシャワー使用に必要とされる毎日の温水を供給するために、各方位の壁面に</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	頼 啓 銘
<p>設置されるべきユニット数と設置面積を示しており、東向きの壁面の場合は 14 枚、北向きの壁面では 31 枚のユニットが必要となる。開発した BIPV/T 太陽熱利用給湯器は新しい太陽熱利用給湯システムであり、壁構造とうまく一体化されることができる。それにより建物のより多くの箇所への設置が可能となり、従って太陽エネルギー利用を増加させることができる。</p> <p>第 4 章では潜熱を利用した BIPV/T あるいは BIST の開発を行っている。開発したマイクロカプセル入り相変化材料 mPCM (microencapsulated Phase Change Material) アルミニウムハニカムモジュールは、エネルギー貯蔵・マネジメントおよび熱環境制御における新規の将来性のある技術である。この mPCM アルミニウムハニカムモジュールへの模擬太陽光照射試験を行い、モジュールへの日射量が $400\sim1000\text{W/m}^2$ の場合には、ピーク負荷の発生する時刻が 57 分～6 分遅れることを明らかにしている。これによりピーク負荷の時刻を効率的に遅らせ、夏季のエネルギー使用のピーク時刻をシフトすることができる。また、この mPCM アルミニウムハニカムモジュールを組み込んだ mPCM ハニカム BIPV/T 外壁は、通常の BIPV より 12-59 %高い発電効率を示す。本システムは相変化材料（PCM）を建築材料と結合することにより、PCM 技術を建築工学分野に効率的に導入することを可能とする新しい環境制御技術と言える。</p> <p>第 5 章は結論であり、本論文で得られた成果について要約するとともに、将来の発展の方向を示している。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、不透明な PV (Photovoltaic) 外壁を分類し、検討が殆どなされていない亜熱帯地域に適した 3 種類の不透明 PV 外壁を提案、開発するとともに、それらが技術的に実用可能であることを示したものであり、得られた主な成果は次の通りである。

(1) 建物のエネルギー管理の観点より不透明 PV 外壁を 8 つのカテゴリーに分類し、各カテゴリーの設計例と技術的な内容を説明している。本研究で開発した不透明 PV 外壁の設計コンセプトと技術はそれらを包含するものとなっている。

(2) 浮力とダブルスキン構造を利用して、吸収した太陽熱を放散する換気機能付きの建物一体型 PV カーテンウォールを開発した。それにより、PV セルの温度を低減し、台湾で標準的な建物一体型 PV より 16～44% 高い発電効率を達成することに成功している。

(3) 自然循環ループを利用し、カーテンウォール構造と一体化した建物一体型 PV 熱利用給湯器を開発した。一家族のシャワー使用に必要な温水を供給するために、各方位の壁面に必要とされる本ユニットの設置面積を示した。壁構造との一体化により、より多くの場所への設置、従って太陽エネルギー利用の増加を可能とするものとなっている。

(4) 潜熱を利用したマイクロカプセル入り相変化材料を含むアルミニウムハニカムモジュールを開発した。これにより夏季ピーク負荷の発生時刻を効率良く遅らせることが可能となった。このモジュールを込みこんだ外壁は通常の建物一体型 PV より 12～59% 高い発電効率を示す。

以上のように、本論文では新たな不透明 PV 外壁の開発を行うと共に、それらの熱輸送特性、熱性能およびエネルギー制御能力を実験および理論解析により明らかにすることに成功している。本論文で開発された新しい PV 外壁等のモジュールは地域の気象条件および建築技術の実務を考慮し実用性を重視して提案されたものであり、得られた研究成果は建築環境制御分野に独創的な貢献をするものと考えられ、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 27 年 11 月 25 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第 14 条第 2 項に該当するものと判断し、

公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。